

深層崩壊危険斜面における水文・水質特性 に関する研究

A STUDY ON HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS AND ELECTRIC
CONDUCTIVITY AT DANGEROUS SLOPES FOR DEEP-SEATED LANDSLIDE

西岡 恒志¹・筒井 和男¹・福田 和寿¹・坂口 武弘¹

木下 篤彦²・森 加代子²・高原 晃宙²

Tsuneshi NISHIOKA, Kazuo TSUTSUI, Kazuhisa FUKUDA, Takehiro SAKAGUCHI

Atsuhiko KINOSHITA, Kayoko MORI and Teruyoshi TAKAHARA

¹和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

E-mail: nishioka_t0012@pref.wakayama.lg.jp

²国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

Key Words: deep-seated landslide, hydrological characteristics, electric conductivity, groundwater

1. はじめに

平成23年9月の台風12号により発生した紀伊半島大水害では、和歌山県田辺市熊野地区などで深層崩壊および、それに伴い発生した河道閉塞・土石流により甚大な被害となった。また、和歌山県では明治22年の右会津川流域や昭和28年の有田川流域などでも深層崩壊が発生している。深層崩壊の発生頻度は少ないものの、ひとたび発生すれば甚大な被害が生じることから、深層崩壊が発生する恐れのある斜面を事前に抽出しておくことは重要な課題である。近年、深層崩壊発生跡地では多量の湧水が存在すること、これら湧水の電気伝導度(EC)が高いことが報告されている。さらに、深層崩壊発生地でECが高くなることを利用した深層崩壊危険箇所を予測する手法の1つとして湧水や渓流水のECに着目した手法が提案されている¹⁾³⁾。一方、既往研究では深層崩壊跡地で任意の時期にECを計測した事例が多く、季節的にいつの時期が危険斜面抽出に適しているのか、降雨の影響の有無、人家や畑の影響、など実際に危険斜面を抽出する上での課題は多い。

そこで本研究ではまず、崩壊の危険性の高い箇所

はいつもEC値が高くなるのかを検証するため、過去に大規模崩壊が多数発生した流域内でECを面的に調査した。次に、降雨時や降雨後、季節変化などの変動によるECの計測条件を検証するため、岩盤クリープ斜面から湧出する湧水と、湧水が流入する河川のECを継続的に調査し、湧水と河川のECの相対比較を行った。最後に、人家や畑などECへの人為的影響を検証するため、それらに隣接した河川においてECの継続的な計測を行った。

調査場所として、面的な調査は過去に大規模な崩壊が多数発生した有田川上流域で、岩盤クリープ斜面と人為的影響の継続調査は、岩盤クリープ斜面周辺に湧水と河川、さらに大規模な果樹園が存在する条件に合う右会津川流域でそれぞれ実施した。

2. 調査地の概要

調査地を図-1に示す。有田川上流域の旧花園村(現かつらぎ町)の金剛寺地区や北寺地区などでは昭和28年に発生した深層崩壊とそれに伴い発生した河道閉塞および決壊により、死者111名・行方不明者85名となる甚大な被害が生じた⁴⁾。右会津川

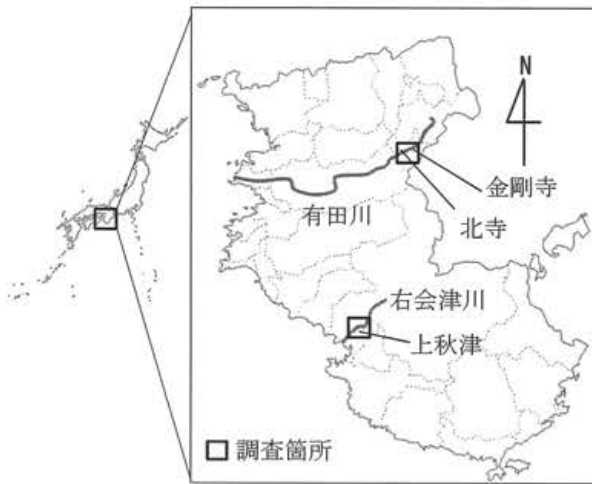


図-1 調査箇所位置図

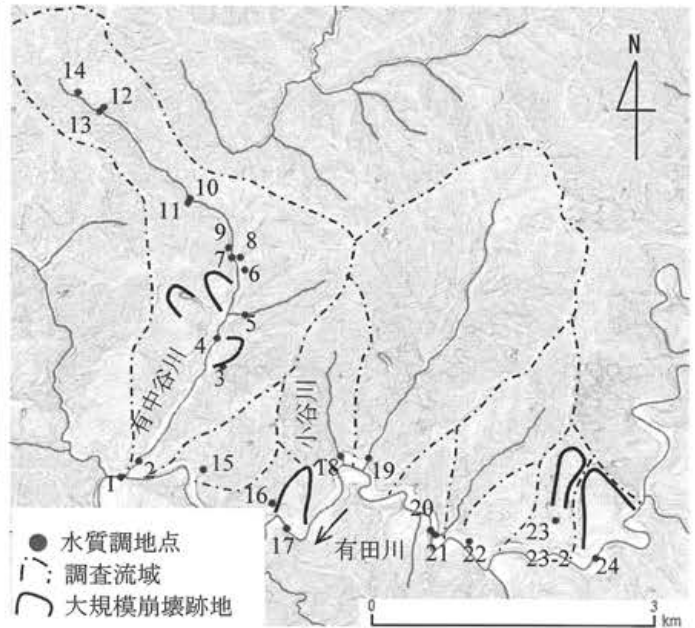


図-2 有田川上流流域水質調査箇所

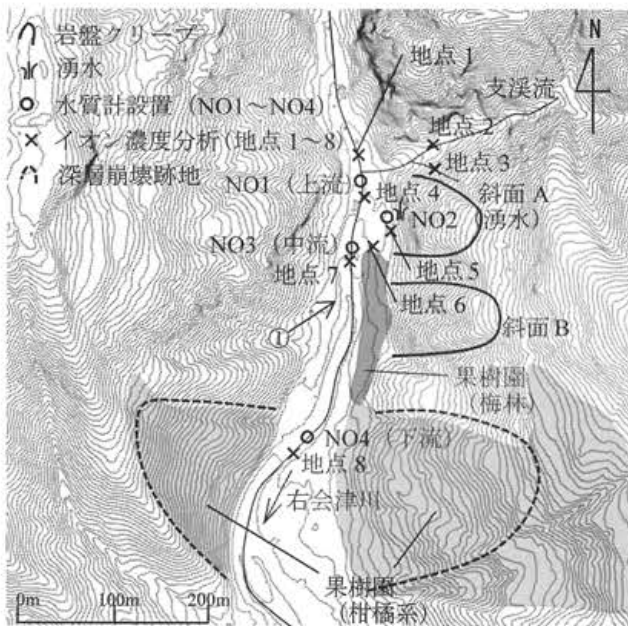


図-3 右会津川水質調査箇所

流域の上秋津村（現田辺市）では明治22年に発生した深層崩壊（長さ720m、幅540m）とそれに伴い発生した河道閉塞（高さ15m、湛水量19万 m^3 程度）および決壊により甚大な被害が生じた⁵⁾。地質は有田川流域が日高川帯、右会津川流域が牟婁帯で、四万十帯と呼ばれる堆積岩地域（付加体）に分類され、深層崩壊の発生頻度が高い地質および地形とされている⁶⁾。

有田川上流流域内で実施した面的なECの計測の調査範囲を図-2に示す。調査範囲は、有田川本川とその4支川であり、流域面積は約20 km^2 である。昭和28年に本川沿いに3箇所、支川の有中谷川流域内で3箇所の大規模崩壊が発生しているほか、多数の崩壊が発生している⁷⁾。



図-4 (上) 図-3中①から見る岩盤クリープ斜面
(下) 岩盤クリープ斜面Aの下部から湧出する湧水

右会津川流域で実施した岩盤クリープ斜面から湧出する湧水と右会津川本川における継続的な調査範囲を図-3に示す。岩盤クリープ斜面は明治22年に深層崩壊が発生した崩壊跡地斜面に隣接して北側に2箇所（斜面Aと斜面B）存在している（図-4）。斜面Aからは豊富な湧水が湧出し、本川に流入している。斜面Bからの湧水は確認できないが斜面下部には果樹園（梅林および柑橘系）が広がっており、施肥時期や降雨時などには肥料成分を含む排水が本川に流入する可能性がある。

3. 調査手法

(1) EC計測を面的に実施する調査手法

流域内で面的に EC を計測するため、有田川上流流域で次の手順で調査を行った。

- ① まず EC が比較的計測し易い有田川本川と支川との合流点に着目し、本川においては合流点の直上・下流で EC を計測、支川においては合流点直上流で EC の計測を行う。計測は複数回行う。支川の出口で EC を計測することで支川流域の EC が高い傾向にあるのか低い傾向にあるのかを確認し、EC の常に高い支川を選定する。
- ② 手順①で選定した EC が常に高い支川の詳細調査を行う。手順①と同様に支川とさらにその支溪流に着目して EC の計測を行う。支川の中で EC が高い支溪流が相対的に深層崩壊発生のおそれが最も高い流域と判断し、支溪流流域内の現地調査を実施する。

調査における留意事項として、河川などの EC は雨水 (EC は概ね 0mS/m) の影響を受けて変化することが考えられる。このため降雨時や降雨直後の調査は実施しないこととした。また、EC は水温が高くなると併せて増加する相関関係にあるため、同じ調査箇所であっても観測日が異なると観測条件が異なり EC に変化が生じる可能性があることから、1 回の調査は全て同一日に完了させることとした。また、EC は水中に溶存するイオンの総量であるため、人家や田畑等から流入する排水によっても EC が増減する可能性がある。

(2) EC 計測を継続的に実施する調査手法

継続的に岩盤クリープ斜面の湧水を計測するため、右会津川流域において EC 計測は次の手順で行った。

- ① 季節変化や降雨による影響を継続的に調べるため、データロガー付水質計を用いる。
- ② 水質計を斜面 A の湧水の湧出箇所 (図-3 中の NO2) に設置する。また、湧水が右会津川本川に流入することによる本川の影響を調査するため、本川の湧水合流部の上下流 (図-3 中の NO1, NO3) に水質計を設置する。
- ③ 本川に隣接する湧水が存在しない岩盤クリープ斜面及び果樹園が本川の水質に与える影響を調査するため、斜面 B と果樹園の上下流 (図-3 中の NO3, NO4) にそれぞれ水質計を設置する。
- ④ 岩盤クリープ斜面から湧出する湧水は、斜面深部の岩盤内を流動してくる過程で岩石からイオンを取り込んでいる。このため、電気伝導度に関連性のあるイオン濃度分析 (調査項

目: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- ; 調査箇所: 図-3 中地点 1~8) を行うことで岩盤クリープ斜面の湧水の水質の傾向を把握する。分析結果はヘキサダイアグラムにとりまとめる。

- ⑤ 調査時期は河川の EC の変化が少ない渇水期に実施 (10 月下旬~翌年 2 月上旬) する。

4. 崩壊斜面とその周辺において面的に EC 計測した水質調査結果

(1) EC の高い支川の抽出

有田川上流流域において平成 26 年 8 月から 10 月に同じ箇所ですべて計 3 回の EC を計測し、常に EC が高い支川を 5 支川確認した (図-5)。このうち 3 支川 (調査地点 3, 18-2, 23) では昭和 28 年に大規模な崩壊が発生した下流および近辺であり、大規模崩壊跡地近辺では EC が高くなることが再確認された。この結果は地頭菌ら¹⁾の研究と同様である。1 箇所 (調査地点 20) の流域は小さく、過去に大規模崩壊は確認されていないが、上流に住居が多数存在している。残り 1 箇所 (調査地点 16) は小谷川という支川で、こちらも過去に大規模崩壊は確認されていないほか、上流に住居も存在していない。

これらの結果より、過去に大規模崩壊跡が確認されておらず、上流に住居や畑がなく人為的影響の可能性が少ないと考えられる小谷川において詳細調査を行うこととした。

(2) EC の高い支川における詳細調査

小谷川では昭和 28 年に大規模崩壊が確認されておらず、また住居や畑などが存在しないにもかかわらず EC が高いことから、支川内に確認されていない大規模崩壊跡地が存在するか、深層崩壊発生のおそれのある危険斜面が存在する可能性が考えられた。図-6 に小谷川の詳細調査箇所を、図-7 に詳細調査結果を示す。小谷川は有田川本川との合流点から上流に向かって EC が上昇していく。途中で分流する支溪流 1 の EC は低いが、支溪流 2 と支溪流 3 の EC は小谷川より高い値を示していた。また支溪流 2 と 3 が分流すると分流後の小谷川の EC は大きく低下した。このことから小谷川の流域の中では支溪流 2 と 3 が最も EC の高い流域であるといえる。支溪流 3 において現地調査を実施したところ、流域内では過去に発生したと思われる崩壊跡地や土石流堆積物、崖錐などを確認された (図-8)。このことより、支溪流 2 と 3 は将来、再度の崩壊や土石流堆積物が流出

すること可能性が考えられる危険流域と判別することができる。

5. 岩盤クリープ斜面とその周辺において継続的に EC 計測した水質調査結果

(1) 湧水・右会津川本川の雨量と EC の関係

平成27年10月から平成28年2月まで観測した結果を図-9, 10 に示す。岩盤クリープ斜面（斜面 A）から湧出する湧水（NO2）の EC は、本川（NO1, NO3, NO4）の約2倍と高い値を示している。降雨時には湧水、本川の EC はともに大きく低下した後、降雨前の値まで回復する。降雨の EC は概ね 0mS/m であることから、EC の低下は降雨の影響を受けたと判断できる。降雨時以外の湧水の EC は概ね一定の値であるが、本川はややバラつきがある。また、観測期間中の最大降雨（11月14日、最大時間雨量 37.0mm、累計雨量 128.5mm）時において EC が低下した後は降雨前の値まで回復していないことが確認できる。

本川の中流（NO3）と下流（NO4）の EC に着目すると、上流（NO1）の値より常時 0.5mS/m 程度高いことが確認できる。EC は水中の溶存イオンの総量と対応することから、EC の高い湧水が本川に流入したことにより湧水合流後の本川の EC が高くなったと考えられる。なお、降雨時（12月11日 累計雨量 50.5mm）には NO1 と NO3・4 の EC の差は最小で 0.2mS/m まで縮まるが、その後約3日でその差の 0.5mS/m まで戻る。これは本川の流量が降雨で増加したことが原因と考えられるが、降雨時でもその差を確認することはできる。また、本川の NO3 と NO4 の EC は概ね一致しているが、時期によって NO4（下流）の EC が高くなったり低くなったりと変動して

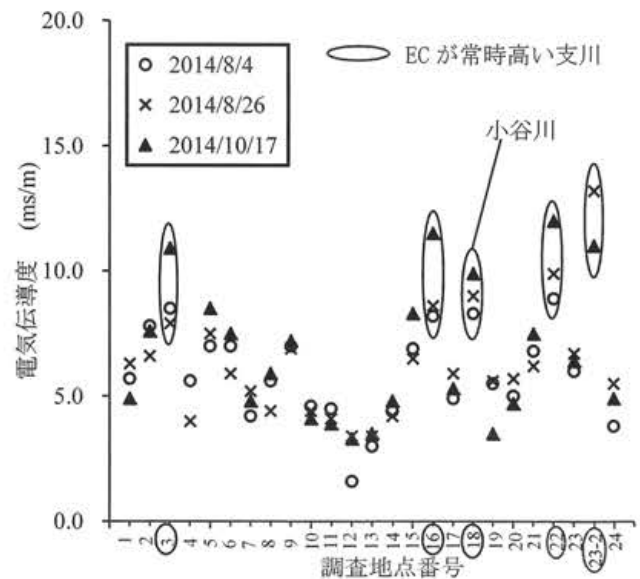


図-5 ECの高い支川抽出結果

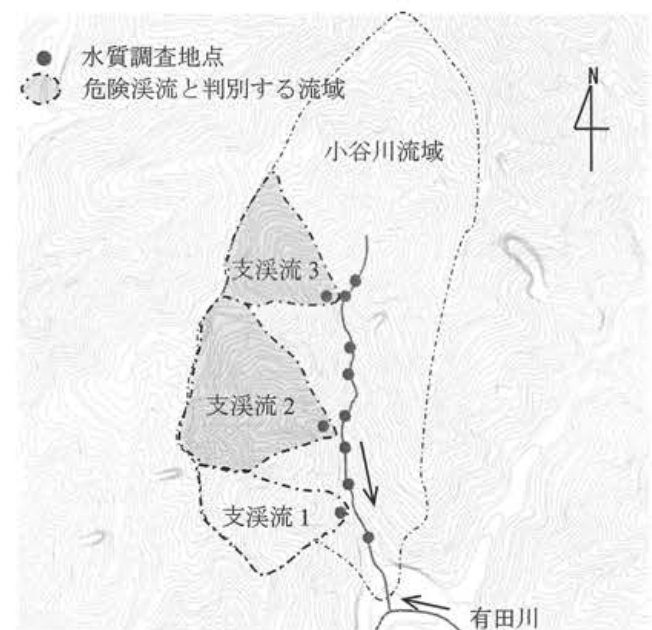


図-6 小谷川詳細調査箇所図

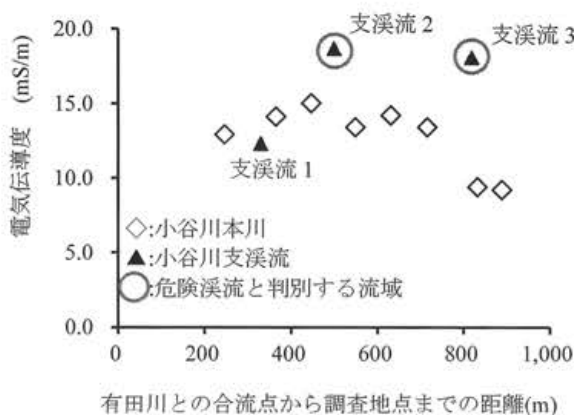


図-7 危険渓流の抽出結果



図-8 支溪流3に存在する崩壊跡地形

いる。途中で EC の高い湧水や地下水の流入があれば斜面 A と同様に常時の差が確認できると考えられるため、この変動は斜面 B からの湧水や地下水の流入によるものではなく、隣接する梅林からの排水や地下水の流入により変動した可能性が考えられる。

図-9, 10 より本川の EC の縦断変化は、上流より $NO1 < NO3 \approx NO4$ であり、岩盤クリープから湧出する湧水の流入を捉えたものといえる。この結果より、河川の EC の縦断変化を捉えることはその箇所 EC の高い湧水や地下水などが流入している可能性があることを示唆している。また、複数ある岩盤クリープ斜面の中で相対的に崩壊危険度の高い斜面を判定できる可能性がある。

(2) 湧水・右会津川本川の雨量と水温の関係

水温の変化を図-11 に示す。湧水の水温は約 17°C と概ね一定であるが、本川の水温は気温と連動していることが確認できる。なお、本川の上流 (NO1) と中流 (NO3) の水温に差はない。なお、湧水の水温が常に一定であることを考えると、湧水と本川の水温に差が生じている季節に調査をすることで危険斜面を抽出できる可能性がある。

(3) 湧水・本川のイオン濃度分析結果

平成 27 年 10 月 24 日と平成 28 年 1 月 27 日にそれぞれ採水を行い、イオン濃度分析を実施してヘキサダイアグラムを作成した (図-12)。本川と渓流水の形状は (地点 1,2,3,4,7,8) は概ね同じであるが、湧水 (地点 5,6) では特定のイオン濃度 ($\text{Ca}^{2+}, \text{HCO}_3^-$) が高くなっていることが確認できる。これらの結果は、深層崩壊発生場付近では湧水や渓流水に溶存している特定のイオン濃度 ($\text{Ca}^{2+}, \text{HCO}_3^-$) が高くなるという高橋ら⁸⁾や木下ら⁹⁾による報告と一致している。また、イオン濃度を計測することは岩石崩壊を予知する上で有効な手段であるという北野ら¹⁰⁾の報告とも一致している。このことから、崩壊発生前の岩盤クリープ斜面において湧出する湧水のイオン濃度を分析することは、深層崩壊発生危険箇所を抽出するための手法の一つとして活用できる可能性がある。

6. おわりに

本研究では、過去に大規模崩壊が発生した流域内を面的に EC の調査を実施することで、崩壊の危険性のある箇所 EC が高くなるのかどうか、および降雨や季節変化に伴う湧水と河川の EC の相対変化を継続的に調査することで深層崩壊危険箇所抽出に必要な計測条件について研究を行った。

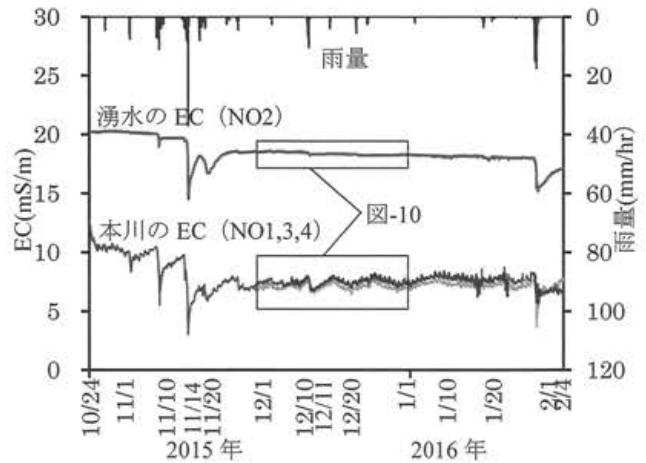


図-9 降雨と本川・湧水の EC との関係

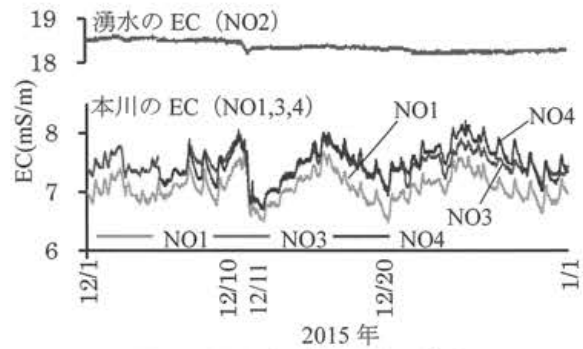


図-10 図-9 中の 内の拡大

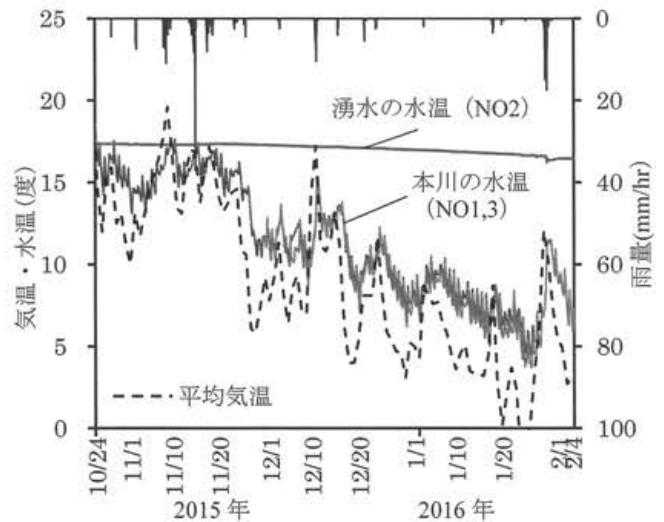


図-11 降雨・気温と本川・湧水の水温との関係

得られた結論は以下の通りである。

- ・流域内を面的に調査した結果から、EC が常に高い箇所や支川の流域内には大規模崩壊跡地が存在する可能性がある。
- ・岩盤クリープから湧出する EC の高い湧水は、流入する本川の EC に影響を与え、湧水が流入する本川の上下流では EC に差が生じる。また、その差は

降雨時には小さくなる。

- ・湧水の水温は一定であり、計測時期によっては EC と同様に本川の水温に影響を与える可能性がある。
- ・調査地の岩盤クリーブ斜面から湧出する湧水は、特定のイオン濃度 ($\text{Ca}^{2+}, \text{HCO}_3^-$) が高い。

今回得られた結果より、河川の EC を計測することで深層崩壊危険斜面を抽出できる可能性が示された。今後の課題として、EC と本川・湧水の流量との関係や EC と岩盤クリーブ斜面の崩壊危険度との関係などがあるため、引き続き観測を続けていきたい。

参考文献

- 1) 地頭菌隆・下川悦朗・寺本行芳：深層崩壊発生場予測法の提案 - 鹿児島県出水市矢筈岳を例にして - , 砂防学会誌, Vol. 59, NO. 2, pp. 5-12. 2006
- 2) 地頭菌隆・下川悦朗・寺本行芳・和田大祐・田淵陽介：深層崩壊発生予測に関する調査法の提案, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, 2012
- 3) 田淵陽介・地頭菌隆・和田大祐・中島希：深層崩壊発生予

測に関する調査法の開発, 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集, 2013

- 4) 和歌山県花園村：水害記録誌よみがえった郷土-昭和 28 年大水害をふりかえって-, p. 51, 1982
- 5) 森俊勇・坂口哲夫・井上公夫：日本の天然ダムとその対応策, 古今書院, pp. 89-92, 2011
- 6) 独立行政法人土木研究所：深層崩壊推定頻度マップ
- 7) 和歌山県土木部砂防課：7・18 水害写真集 (主として有田川上流流域) pp. 34-35, 1992
- 8) 高橋真哉・恩田裕一・馬場茂彰・田中健太・内田太郎・地頭菌隆・浅野友子・戸田博康：宮崎県鱒塚山における深層崩壊発生場と渓流水の水質の関係, 平成 22 年度砂防学会概要集, 2010
- 9) 木下篤彦・北川真一・大山誠・小杉賢一朗・内田太郎・小川内良人・横山修：平成 23 年台風 12 号で深層崩壊が発生した赤谷地区斜面の水文特性に関する研究, 平成 25 年度砂防学会概要集, 2013
- 10) 北野康・加藤喜久雄・金森悟・金森暢子・吉岡龍馬：水質調査による岩石崩壊の予知の可能性, 京大防災研究年報第 10 号 A, pp. 577-587, 1967

(2016. 5. 31 受付)

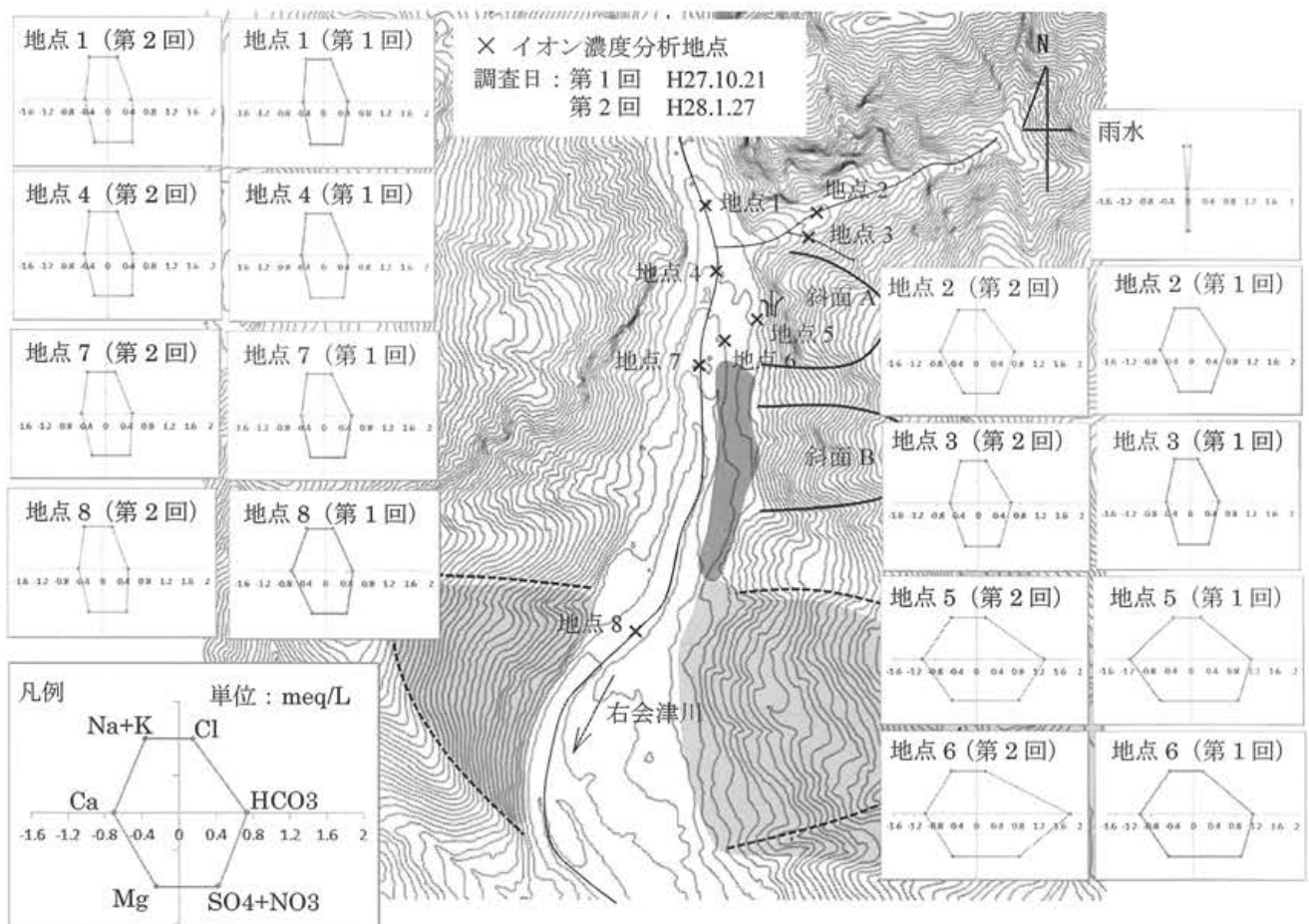


図-12 湧水・本川のイオン濃度分析結果 (ヘキサダイアグラム)